

PUNTOS DE CAMBIO EN LOS CAUDALES ANUALES DEL RÍO MAIPO - CHILE- ASOCIADOS A FENÓMENOS CLIMÁTICOS DE LA MACROESCALA

Poblete AG¹, Minetti JL², Escudero SA³.

¹Instituto de Geografía Aplicada, Universidad Nacional de San Juan, Mitre 317 –Oeste- San Juan. CP 5400, 054 0264 4222074 int. 139, agpoblete@gmail.com

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas- CONICET, Laboratorio Climatológico Sudamericano, San Luis 183, S. Miguel de Tucumán, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina, Tel. 0381 4310570/4310171 int. 420, minettil@arnet.com.ar

³Instituto de Geografía Aplicada, Universidad Nacional de San Juan, silvia.a.escudero@gmail.com

Los cambios en el largo plazo de los ríos cordilleranos podrían incluirse dentro de la problemática del Cambio Climático, el que pueden presentarse como discontinuidades abruptas que resultan perjudiciales pues no advierten su ocurrencia con suficiente antelación, siendo la adaptación y/o mitigación menos viables para las decisiones políticas.

El objetivo de este artículo es realizar un estudio de cambio de régimen en los Andes centrales, mediante un análisis de tendencia y “saltos” al río Maipo, uno de los más representativos de dicha región, dado que cuenta con una adecuada serie temporal para valuar su variabilidad/cambio y encontrar su patrón de funcionamiento a largo plazo e inferir la posible existencia de un cambio en las variables climáticas de sus cuencas. Una vez logrado esto, se intenta identificar las teleconexiones entre dicho patrón y fenómenos asociados a la circulación atmosférica regional y de la cupla océano-atmósfera.

Se aplican los test de Spearman y Kendall para la tendencia y el análisis Change Point para identificar “saltos” abruptos.

Se concluye que el río Maipo tiene una tendencia decreciente significativa y puntos de cambio en 1945 y 1977, coincidentes con los saltos del promedio de anomalías de la SST en el área NIÑO 3+4, la PDO y las anomalías de la temperatura media global en la baja troposfera que registra un calentamiento abrupto en 1976-1977.

Introducción

La variabilidad del clima en los Andes centrales, presenta una tendencia decreciente en los cursos de agua de Cuyo y Chile central, que ha producido una reducción de los derrames medios en el periodo 1951-70 aproximadamente en sus dos terceras partes con respecto a los observados en los primeros treinta años del siglo pasado (Menegazzo de García et. al, 1985; Poblete y Sanchez, 2000; Poblete y Bertol, 2001).

Los cambios en el largo plazo de los ríos como describen las características hidroclimáticas y térmicas de sus cuencas, podrían incluirse dentro de la problemática del cambio climático (CC). De acuerdo a la WMO (1966), un cambio climático es una inconstancia en el promedio de las variables meteorológicas, que incluyen entre ellas a formas de tendencia, saltos y vacilaciones, entre otras, sin especificar la naturaleza del forzante que la genera (natural, antrópica, etc.).

Diversos autores han mostrado en el pasado al CC como tendencias de las dichas variables (IPCC, 2001), y otros como saltos o discontinuidades abruptas (Kalnicky, 1974; Yamamoto, 1987; Vargas et. al, 1995; Minetti y Vargas, 1998 entre otros). Es importante advertir que el grado de impacto que pudieran tener las segundas formas de inconstancia climáticas (saltos) en la sociedad, son de un grado superlativo puesto que no advierten a la misma en forma gradual por lo que la adaptación y/o mitigación se hacen menos viables desde el punto de vista de las decisiones políticas.

Postulando la segunda alternativa, en este trabajo se pretende identificar en la serie temporal extendida del río Maipo la existencia de tendencias y su significación y además posibles puntos de cambio (“climatic jump”, “change point” o “shift point”) o “saltos” como un primer aporte al entendimiento de un probable cambio de régimen climático.

Varios métodos han sido desarrollados para descubrir tendencias y/o cambios de régimen o discontinuidades en una serie de tiempo. Para el primer caso se emplean técnicas estadísticas usuales, como el test de Mann-Kendall, Kendall M.G. (1975), Mann H.B. (1945), y/o Spearman Siegel S. (1956), entre otros.

Una posible solución para encontrar discontinuidades es usar datos secuenciales que sean procesados con las técnicas que se describen más adelante. En el análisis secuencial el número de observaciones no es fijo. Para cada nuevo registro se realiza una prueba para determinar la validez de la hipótesis nula H_0 (en este caso, la existencia de un cambio de régimen). Hay tres posibles resultados de la dócima: se acepta H_0 , se desecha H_0 , o se espera la comprobación.

En este artículo se emplea el algoritmo para la detección de Puntos de Cambio ("Change Point") propuesta por Taylor, W. (2000a, 2000b) para detectar "saltos" en el derrame anual del río Maipo.

Sin embargo, una de las mayores dificultades que presenta el estudio del cambio climático en los Andes Centrales, es la escasez de series climatológicas e hidrológicas lo suficientemente largas en el período instrumental como para aplicarles test estadísticos de detección de tendencias y saltos en la media. Siendo el río Maipo uno de los más representativos de dicha región y dado que sus derrames fueron reconstruidos hasta 1869 Poblete, A.G, Novoa Jerez, J.E (2010), se lo elige para valuar la variabilidad/cambio en su serie temporal y hacer posible la identificación aludida.

Por otra parte, en un análisis de estabilidad del promedio (medias y medianas consecutivas) propuesto por Fisher, Panofsky and Brier (1968) los ríos de dichas regiones estabilizan su derrame media anual con una serie de longitud de 51 años en el marco de un error del 5% (ver figura N°: 2). Este esclarecedor resultado muestra que para realizar estudios de CC en las series temporales del citado río, deberían incluirse subseries de, por lo menos, esa longitud (51); lo que significa que se requeriría, al menos, 102 años para hacer viable la aplicación de test objetivos para detectar un Cambio Climático propiamente dicho. La serie extendida del río Maipo cuenta con 139 años, por lo que resulta viable un análisis de tendencia y detección de Puntos de Cambio Abrupto (PCA) con el objeto, como se dijo, de describir estadísticamente la estructura del decrecimiento de sus derrames.

Estas elucubraciones avalan el interés y propósito de este trabajo: contribuir a encontrar el patrón de funcionamiento a largo plazo del escurrimiento superficial de dicho río e inferir de aquel la posible existencia de un cambio en las variables climáticas de sus cuencas. Una vez determinada la estructura de la serie temporal del río Maipo se intentara identificar las teleconexiones entre la tendencia y los puntos de cambio encontrados con fenómenos asociados a la circulación atmosférica regional y de la cupla océano-atmósfera.

Datos y métodos: Las mediciones registradas en la localidad de El Manzano de los caudales del río Maipo, con que cuentan los autores, se inician en el período 1948-49 y terminan en 1988-89, y fueron obtenidos del sitio <http://www.seas.ucla.edu/chpr/chile/chile.html>, perteneciente al centro de estudios de Hidroclimatología de los Márgenes del Océano Pacífico (CHPR) de la UCLA. A los que se agregan los aportados por el Ministerio de Obras Públicas de Chile a través de la Dirección General de Aguas desde el año hídrico 1952-53 hasta el 2001-02 y los reconstruidos por Poblete y Novoa Jerez (2010), que extienden la serie hacia atrás hasta el periodo 1869-70.

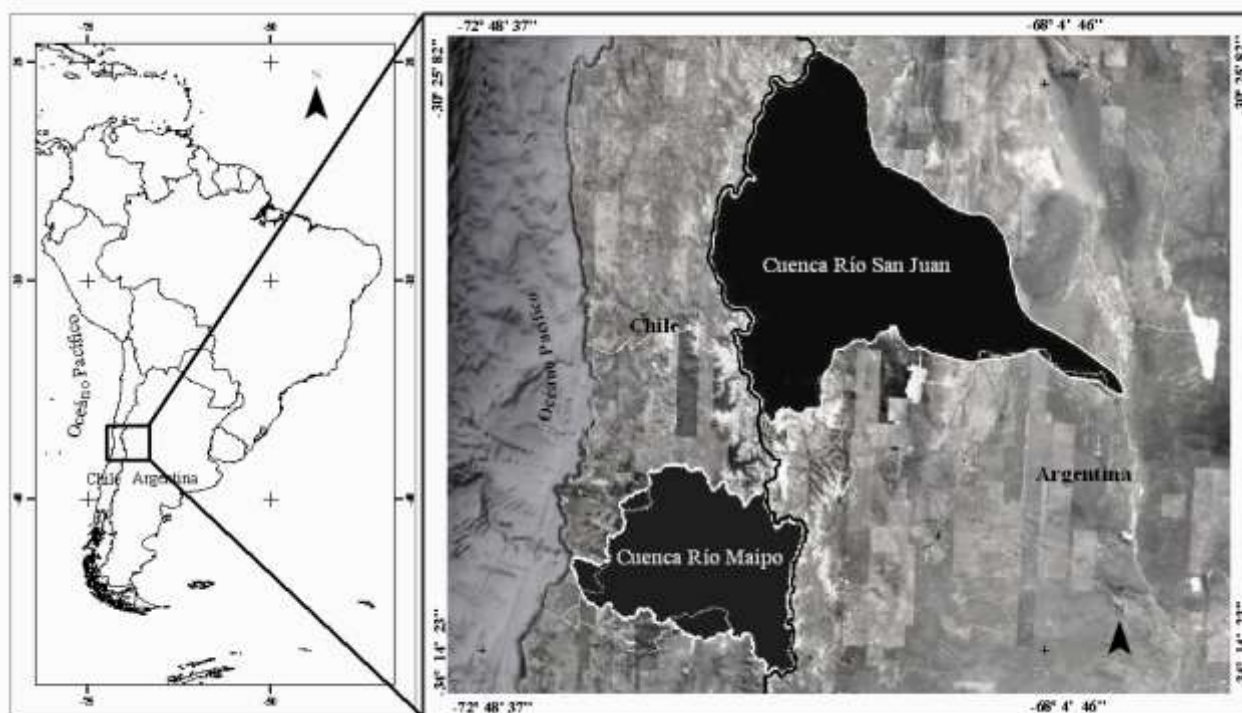


Figura 1: Ubicación de las cuencas de los ríos Maipo-Chile- y San Juan-Argentina-.

La contrastación estadística de la significación de la tendencia se realiza mediante:

1.- **Test de Spearnan (r_s)** cuya ecuación es: Spearman, Siegel S. (1956),

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{N^3 - N} \quad (1) \quad r_s \approx N \left(0, \frac{1}{n-1} \right) \quad \text{con: } d_i = \text{la diferencia entre rangos}$$

$$\text{Se construye el estadístico: } t = r_s \sqrt{\frac{N-2}{1-r_s^2}} \quad (2)$$

Se extrae t_T de la tabla “*t*” de Student con $v = N-2$ grados de libertad.

Si $|t| \leq t_T$ no hay tendencia significativa al $\alpha \%$, en los datos.

2.- **Test de Mann-Kendall (MK).**

El estadístico univariado de MK para una serie temporal $\{Z_k, k = 1, 2, \dots, n\}$ de datos se define como:

$$T = \sum_{j < i} \text{sgn}(Z_i - Z_j) \quad (3)$$

Donde

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x > 0 \\ 0, & \text{if } x = 0 \\ -1, & \text{if } x < 0 \end{cases}$$

Si no hay ligaduras (rangos iguales) entre las observaciones y no existe una tendencia en la serie de tiempo, el resultado se distribuye asintóticamente normal con:

$$E(T) = 0 \quad \text{y} \quad \text{Var}(T) = n(n-1)(2n+5)/18. \quad (4)$$

Este test no paramétrico es conveniente para identificar el intervalo en el cual la tendencia es más pronunciada, Kendall M.G. (1975), Mann H.B. (1945).

Una vez conocida la significación de la tendencia, se utiliza el análisis de “puntos de cambio” (Change Point -CP-) que es una herramienta estadística para determinar si han ocurrido “saltos” en una serie temporal. Es capaz de descubrir cambios abruptos sutiles ignorados por el control gráfico. Además caracteriza dichos puntos calculando sus niveles e intervalos de confianza. Al procesar los datos disponibles, un análisis de “change-point” (CP) proporciona una extensa información estadística, caracterizando dichos puntos puesto que le asigna un nivel de significación, controla la proporción del error global, es sensible a los outliers, es más flexible y simple de usar. A continuación se hace un breve repaso de dicha metodología.

Procedimiento para realizar un CP: Los pasos usados por Taylor (2000a) para realizar un análisis interactivo de CP, consisten en una combinación de gráficos de la suma acumulativa (CUSUM) y la aplicación de un “bootstrapping” (o *bootstrap*, es un método de [remuestreo](#) propuesto por [Bradley Efron](#), Efron, B. (1982). Se utiliza para aproximar una distribución en la muestra de un [estadístico](#). Se usa frecuentemente para ajustar el [sesgo](#) o la [varianza](#) del mismo, así como para construir [intervalos de confianza](#) o realizar contrastes de hipótesis sobre parámetros de interés. En la mayor parte de los casos no pueden obtenerse expresiones cerradas para las aproximaciones *bootstrap* y por lo tanto es necesario obtener remuestras mediante un procedimiento informático. La enorme potencia de cálculo de las PC actuales facilita considerablemente la aplicabilidad de este procedimiento que requiere una gran iteratividad).

Para descubrir y valuar los cambios con los citados, se comienza con la construcción de un gráfico CUSUM. Dichos gráficos son contruidos calculando y trazando la suma acumulativa basada en lo datos originales.

Sea la serie x_1, x_2, \dots, x_N que representa los N puntos de los datos.

De estos, se calculan las sumas acumulativas: $S_0, S_1, S_2, \dots, S_N$, como sigue:

1. Primero se calcula el promedio

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N} \quad (5)$$

2. La suma acumulativa del cero es $S_0 = 0$.

3. Se computan las restantes sumas acumulativas agregando la diferencia entre el valor actual y el promedio de la suma anterior a él, es decir:

$$S_i = S_{i-1} + (x_i - \bar{X}) \text{ para } i = 1, 2, \dots, N. \quad (6)$$

Las sumas acumulativas no son las de los valores originales, sino las homologas de las diferencias entre los mismos y el promedio. Las diferencias sumadas deben ser cero para que la suma acumulativa correspondiente también sea cero ($S_N = 0$)

Para interpretar un gráfico CUSUM se debe realizar lo siguiente: sea un período de tiempo en que los valores tienden a ser menores al promedio global. En este caso, la mayoría de aquellos que se agreguen harán que la suma acumulativa sea positiva y en aumento constante, luego un segmento del gráfico tendrá una pendiente ascendente lo que indica un período donde los valores tienden a ser mayores al promedio global. Igualmente un segmento con una pendiente descendente indica un intervalo de tiempo donde los valores tienden a estar debajo del mismo. Una variación súbita en la dirección del gráfico, indica un cambio brusco en la media. Los períodos donde el CUSUM sigue un camino relativamente recto señala un lapso donde el promedio no cambia.

El problema de dichos gráficos, es que requieren considerable habilidad para interpretarlos correctamente ¿Cómo se puede estar seguro que estos cambios tuvieron lugar? Para ello se necesita determinar un nivel de confianza para que el mismo quede claramente identificado, para lo cual se debe realizar un análisis de "bootstrap". Antes de ejecutarlo, se requiere un estimador de la magnitud del cambio. Una opción para lograrlo es la llamada "Sdiff" que se ejecuta correctamente sin tener en cuenta la distribución, a pesar de tener cambios múltiples, y se define como:

$$S_{diff} = S_{\max} - S_{\min} \quad (5) \quad \text{donde}$$

$$S_{\max} = \max_{i=0, \dots, N} (S_i) \quad (5a)$$

$$S_{\min} = \min_{i=0, \dots, N} (S_i) \quad (5b)$$

Donde S_{\max} es la mayor de todas las sumas acumuladas y S_{\min} la menor.

Una vez que se ha seleccionado el estimador de la magnitud del cambio, puede realizarse el análisis bootstrap. Para uno solo, se opera de la siguiente manera:

1.- Se genera una muestra de bootstrap de N unidades $X_1^0, X_2^0, \dots, X_N^0$, resultando N valores al azar. A esto se le llama muestreo sin reemplazamiento.

2.- Basado en la muestra obtenida, se calcula el bootstrap del CUSUM y se lo denota: $S_1^0, S_2^0, \dots, S_N^0$.

3.- Se calcula el máximo, mínimo y diferencia del bootstrap CUSUM llamados, en este caso: $S_{\max}^0, S_{\min}^0, \dots, S_{diff}^0$

4.- Se determina si la diferencia bootstrap S_{diff}^0 es menor que la original S_{diff}

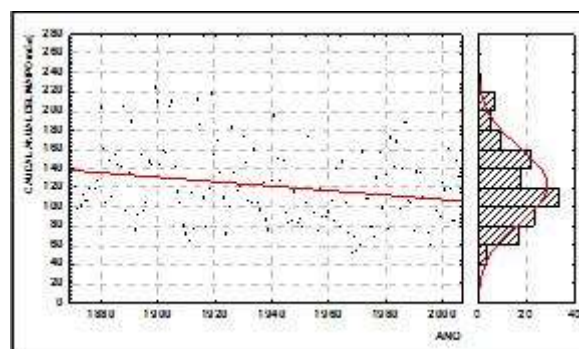
III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTE

La idea de ejecutar el bootstrap es que las muestras generadas por dicho procedimiento ("sample – bootstrap") representan el reordenamiento aleatorio de los datos que imitan la conducta del CUSUM si no ha ocurrido ningún cambio. Realizando un gran número de muestras bootstrap, se puede estimar cuántos "Sdiff" habrían si no tuvo lugar ningún cambio. De esta manera, se puede comparar con el valor de Sdiff calculado a partir de los datos en su orden original para determinar si este valor es consistente con que no haya ocurrido ningún cambio, (Taylor, 1980b).

Resultados y discusión: antes de realizar el análisis de cambio de régimen descripto, se calculan los estadísticos de las variables involucradas, como lo muestra el cuadro 1.

Largo de la serie	139	Cuadro 1: Estadísticos de la serie temporal del río Maipo.
Media	122.18	
Desviación Standard	38.8956	
Varianza	1512.8701	
Porcentaje de Varianza explicada	31.83%	
Coefficiente de Sesgo.	0.5778	
Coefficiente de Curtosis	-0.2113	
Valor Máximo	224.5 (Año 1899)	
Valor Mínimo	51.5 (Año 1968)	
1er. Cuartil (25%)	93.8	
Mediana	116.8	
3 rd . Cuartil (75%)	147.1	
Outliers	Ninguno	
Test de Distribución Normal de Kolmogorov-Smirnov	D= 0.090 (p=0.212, O.K.)	
Modelo de Regresión Lineal	$y = 138.4533 - 0.2325 \cdot t$	
Tendencia cada 10 años	SIGNIFICATIVA	
Tests de Aleatoriedad (general)		
1er. Coeficiente de Autocorrelación r1	$r1 = 0.309 < r1(Tg_95\%) = 0.132$	
Von Neumann Ratio V	$V = 1.391 > V(Tg_95\%) = 1.735$	

Figura 2:
Serie temporal del río Maipo desde 1869-2007 con su tendencia y media móvil de cinco años.



La figura 2 muestra la serie temporal, y su distribución de probabilidad, del río Maipo desde el año 1869 al 2007. Se puede notar que su ajuste es gaussiano y tiene una tendencia decreciente, significativa al 97.5% de acuerdo al test de Spearman cuyo valor es $R_s = -0.226$, y $t = -2.713$ con 137 grados de libertad. Lo que es confirmado con el test de Rank Mann-Kendall cuyo estadístico es $t = -0.153$ significativo al 95% con $u(t) = 0.112$. Este resultado es coherente con lo encontrado por diversos autores, en la mayoría de las variables hidroclimáticas analizadas en los Andes centrales.

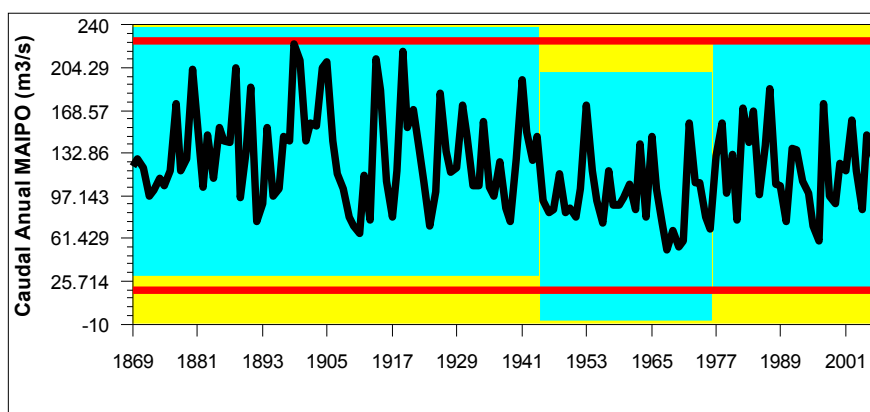


Figura 3:

Análisis de Punto de cambio para la serie temporal de los caudales del río Maipo desde 1869-2007

Column A	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
1945	(1928, 1950)	100%	133.51	96.056	1
1977	(1963, 1995)	92%	96.056	121.43	3

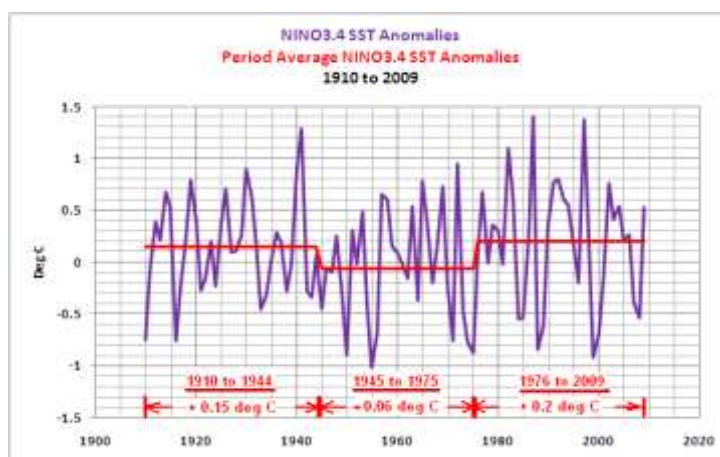
Cuadro 2: Estadísticos de los Puntos de cambio encontrados en la serie temporal del río Maipo.

La figura 3 y cuadro 2 muestran el resultado de la metodología CP descripta. Se puede apreciar que los puntos de cambio detectados ocurren en los años 1945 y 1977.

En 1945 el caudal medio anual del Maipo decreció de 133,51 m³/s a 96,05 m³/s (28%) con un nivel de confianza del 100%, mientras que en 1977 la media se incrementa de 96,05 m³/s a 121,43 m³/s (20%) con un nivel de confianza del 92%. Como se advierte, este valor de la media no alcanza al que tenía en 1945 (hay una diferencia del 8%).

Algunas consideraciones climáticas: Para encuadrar los puntos de cambio encontrados en el contexto climático mundial, se realizan las siguientes consideraciones

Figura 4: Comparación de las anomalías anuales mundiales de las SST promediadas en el área NIÑO 3+4 para los tres periodos analizados. (Fuente: <http://i56.tinypic.com/zxmsg8.jpg>)



En la figura 4 se observa el promedio de anomalías de la SST en el área NIÑO 3+4 durante tres periodos: 1) desde 1910 hasta 1944 las anomalías de las SST respecto de la media de dicho promedio fueron de unos +0,15°C, 2) de 1945 hasta 1975 alrededor de -0,06°C, y 3) entre 1976 a 2009 de aproximadamente +0,2°C. Esto demuestra que los eventos de “El Niño” dominaron en los periodos de 1910 a 1945 y de 1976 a 2009 y que los episodios de “La Niña” prevalecieron desde 1945 hasta 1975. Teniendo en cuenta lo encontrado por Poblete y Sanchez (2000), que los episodios “El Niño” están asociados a caída de nieve y lluvia por encima de lo normal y que la “La Niña” propicia Andes y Chile central secos, lo que muestran la

compatibilidad entre los episodios que ocurren en el mar global y los fenómenos hidroclimáticos aquí analizados, (<http://i56.tinypic.com/zxmsg8.jpg>, 2010).

Por otra parte se sabe que el Océano Pacífico cambia considerablemente cada 20 a 30 años, hecho al que se denomina Oscilación Decadal Pacífica (PDO), (Mantua et al, 1997), que produce cambios en la circulación de esa región y teleconexiones en la macroescala. En 1976-1977 la PDO tuvo un fuerte salto climático al que se denominó "Great Pacific Climate Change 1976-1977" ("Gran Cambio del Clima del Pacífico 1976-1977"). Como resultado, las temperaturas ascendieron drásticamente respecto de su promedio anterior que estaba estabilizado desde alrededor de 1946, y restituyó el calor moderado producido en el entorno de 1923 a 1946. Tan agudo fue el cambio que lo más apropiado es buscar una tendencia secular antes y después de 1976-1977, sin embargo es conocido que ese evento natural no es lineal, Bond, N.A. and D.E. Harrison (2000).

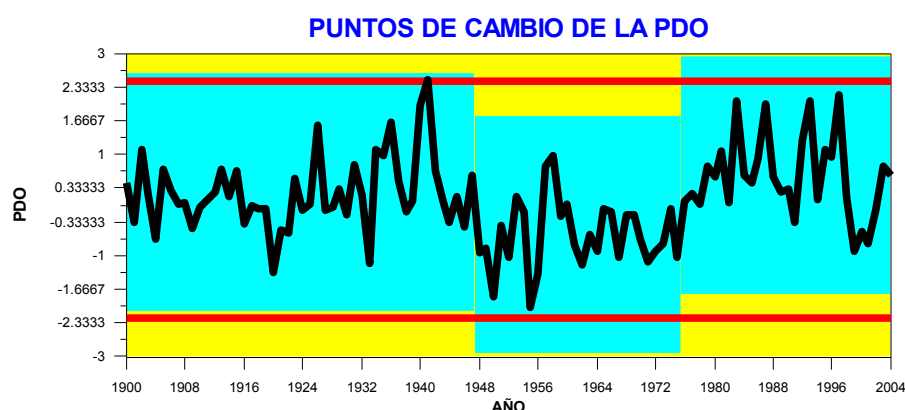


Figura 5-
Puntos de cambio (Change Point) significativos en la PDO

Cuadro 3: Puntos de cambios en la PDO y su significación estadística

AÑO	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
1948	(1940, 1955)	100%	0.23639	-0.59238	4 ■
1976	(1972, 1981)	100%	-0.59238	0.56236	1 ■

La figura 5 y el cuadro 3 muestran los resultados del análisis de punto de cambio realizado para la serie temporal de la PDO entre el 1900 y 2004. Se puede notar que son muy cercanos a los correspondientes al río Maipo, lo que confirma la teleconexión descrita para el caso de los dominios "Niño/Niña/Niño", en las SST mundiales.

Por otra parte investigadores de la NASA y registros de la NOAA, muestran que la baja tropósfera (de unos 8 Km), de altitud aproximadamente, a pesar que tiene una tendencia lineal de 0,09 °C por década en todo el período medido, la misma se ve afectada por la presencia del calentamiento abrupto que ocurrió en 1976-1977 (ver figura 6), debido a la acción de la PDO. Ese salto también coincide con uno de los puntos de cambio encontrado en río Maipo.

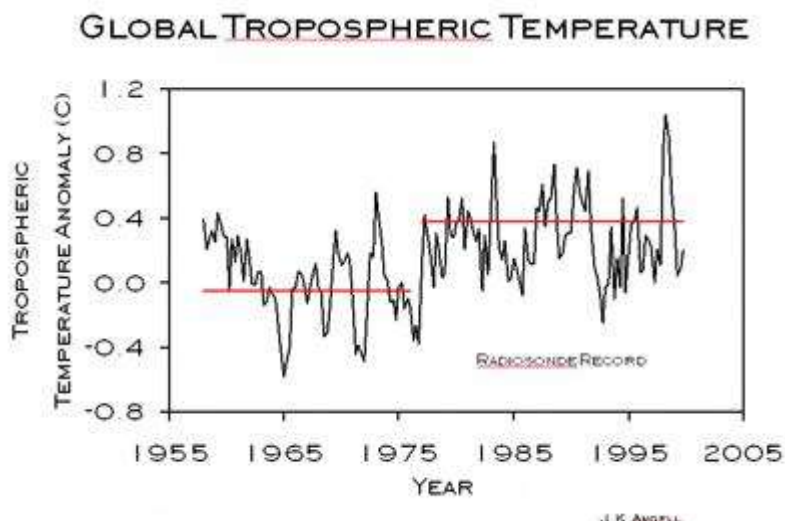
Finalmente según Poblete y Minetti (2009) basándose en otro índice objetivo para la detección de puntos de cambio, muestran que también la temperatura global presenta, entre otros, "saltos" en 1948 y 1977, de lo que resulta significativa la conexión entre la estructura estadística del Calentamiento Global y los cambios abruptos encontrados en el río analizado.

Figura 6-

Anomalía de la temperatura media estacional de una muestra global para la baja troposfera, medida por radiosondas.

Fuente:

<http://bobtisdale.blogspot.com/2009/01/can-el-nino-events-explain-all-of.html>



Se concluye, que la serie temporal del río Maipo tiene una tendencia decreciente, significativa al 97.5% de acuerdo al test de Spearman y al 95% según el de Rank Mann-Kendall.

Con la metodología CP, se detectan puntos de cambio en los años 1945 cuando el caudal medio anual del Maipo pasó de 133,51 m³/s a 96,05 m³/s y 1977, cuando su media se incrementa de 96,05 m³/s a 121,43 m³/s, con un nivel de confianza del 92%. Este último promedio no alcanza al que tenía antes de 1945.

En un análisis de teleconexión se observa que el promedio de anomalías de la SST en el área NIÑO 3+4 para los periodos delimitados por los puntos de cambio del Maipo, los eventos de “El Niño” dominaron en el primero (1910-1945), al igual que en el tercero (1976-2009) mientras que, los eventos “La Niña” prevalecieron en el segundo (1945-1975). Teniendo en cuenta que los episodios “El Niño” están asociados a caída de nieve y lluvia por encima de lo normal en los Andes y Chile central y que la “La Niña” propicia años secos, se encuentra una teleconexión entre los episodios que ocurren en el mar global y los fenómenos hidroclimáticos locales aquí analizados.

En el análisis de puntos de cambio realizado para la serie temporal de la PDO entre el 1900 y 2004 se detectan “saltos” en años muy cercanos a los correspondientes del río Maipo, lo que confirma otra teleconexión además de la descrita para el caso “Niño/Niña/Niño”, en las SST mundiales.

Analizando las anomalías de la temperatura media estacional de una muestra global para la baja troposfera, se puede notar que a pesar de tener una tendencia lineal de unos 0,09 °C por década en todo el período medido, se ve afectada por la presencia del calentamiento abrupto que ocurrió en 1976-1977, posiblemente debido a las tendencias ocurridas antes y después de la Gran Cambio Climático del Pacífico de 1976-1977, este “salto” coincide con el otro punto de cambio encontrado para el río Maipo con lo cual se habría identificado una tercer teleconexión, es decir que el salto abrupto de la temperatura troposferica también estaría asociada al derrame de los ríos cuyas cuencas se encuentran en los Andes centrales de Argentina y Chile.

En otro trabajo, los autores, basándose en un índice objetivo distinto para la detección de puntos de cambio, muestran que también la temperatura global presenta, entre otros, “saltos” en 1948 y 1977, de lo que resulta significativa la conexión entre la estructura estadística del calentamiento y los cambios abruptos encontrados en el río analizado.

Bibliografía

- Bond N.A. and D.E. Harrison (2000): The Pacific Decadal Oscillation, air-sea interaction and central north Pacific winter atmospheric regimes. *Geophys. Res. Lett.*, 27(5), 731-734.
- Efron B. 1982. The Jackknife, the Bootstrap and Other Resampling Plans, CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics 38. Philadelphia, Pa.: Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM).
- IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001: Climate Change 2001-Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III. 397 pgs.
- Kalnicky R., 1974: Climate Change Since 1950. *Ann. Ass. Am. Geo.* Vol. 64, N° 1.
- Kendall M.G. (1975), *Rank Correlation Methods*, Charles Griffin, London
- Mann H.B. (1945), Nonparametric Tests against Trend, *Econometrika* 13, 245-259

III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTE

- Mantua N. J., S. R. Hare, Y. Zhang, J. M. Wallace, and R. C. Francis, 1997: A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 78, 1069– 1079.
- Menegazzo de García M.I., J.L.Minetti, M.C.Carletto y P.M.Barbieri, 1985: Régimen de variabilidad estacional y aperiódico de los escurrimientos superficiales de Ríos Andinos. *Geofísica* 41, 159-176. Madrid.
- Panofsky H.A. and Brier G.W. 1968: " Some Applications Statistic to Meteorology. University Park.. Pennsylvania.
- Poblete A.G y Minetti, 2009: "Detección de cambio de régimen en el derrame anual del río San Juan vinculados con cambios de larga escala en el clima". J.L.XIII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología (CLIMET XIII). X Congreso Argentino de Meteorología. (CONGREMET X).
- Poblete A.G, Novoa Jerez, J.E (2010): "Reconstrucción de los Caudales Anuales del Río Maipo (Chile) basada en las Descargas Anuales del Río San Juan (Argentina)". *Revista de Geografía Instituto de Geografía Facultad De Historia, Geografía y Ciencia Política. Pontificia Universidad Católica de Chile*
- Poblete A.G, Novoa Jerez, J.E, 2010: Reconstrucción de los Caudales Anuales del Río Maipo (Chile) basada en las Descargas Anuales del Río San Juan (Argentina).
- Poblete A.G. y G. del V. Sánchez, 2000: Análisis de la posible asociación entre los derrames anuales del Río San Juan y el fenómeno de "El Niño"/"La Niña". *Rev. de Geografía Año 3, N°4, Inst.Geo.Apl.-UNSJ.*
- Poblete A.G. y E.F. Bertol, 2001: Variabilidad interanual del Río San Juan. *Rev. de Geografía Año IV, N°5, 52-58. Inst. Geo.Apl.-UNSJ.*
- Siegel S. (1956), *Nonparametric Statistics*. New York: Mc Graw- Hill Book Company, Inc.
- Taylor Wayne (2000a), *Change-Point Analyzer 2.0* shareware program, Taylor Enterprises, Libertyville, Illinois. Web: <http://www.variation.com/cpa>.
- Taylor Wayne (2000b), "A Pattern Test for Distinguishing Between Autoregressive and Mean-Shift Data," submitted to *Journal of Quality Technologie*.
- Vargas W.M., J.L.Minetti and A.G.Poble, 1995: Statistical study of climate jumps in the regional zonal circulation over South America. *J.Met.Soc. of Japan* 73, 849-856.
- WMO. World Meteorological Organization, 1966: *Climate Change. Technical Note N° 79*. Geneve.
- Yamamoto, R.T., 1987: *Climatic Jumps. Evidence and Possibility*. Workshop on Climate Change and Water Resources. Beijing. China.